

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number : 10-140210  
(43) Date of publication of application : 26. 05. 1998

(51) Int. Cl. B22F 3/10  
B22F 3/02  
C04B 35/64

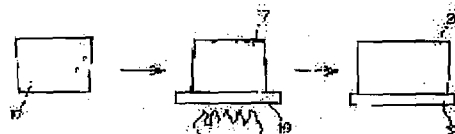
(21) Application number : 08-298535 (71) Applicant : TOYOTA MOTOR CORP  
(22) Date of filing : 11. 11. 1996 (72) Inventor : KIKYO CHIAKI  
NAKAMURA HITOSHI

## (54) PRODUCTION OF SINTERED COMPACT

## (57) Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a process for producing a sintered compact by which the sintered compact having a high perpendicularity is obtd.

SOLUTION: A density gradient is previously applied on a columnar powder compression molding 17 before heating and sintering and sintering is executed by placing the end face on the high-density side of this powder compression molding 17 on an imposition surface at the time of the heating and sintering. The flank of the columnar powder compression molding 17 prior to the heating and sintering is previously formed with a taper and the sintering is executed by placing the end face on the side of the larger area of the powder compression molding 17 on the imposition surface at the time of the heating and sintering. The perpendicularity of the sintered compact 20 after the heating and sintering is improved.



## \* NOTICES \*

JPO and INPIT are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. \*\*\*\* shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

---

CLAIMS

---

[Claim(s)]

[Claim 1] A manufacturing method of a sintered compact which gives a density gradient beforehand to a powder compression-molding object of the shape of a pilaster before heating sintering, and is characterized by carrying and sintering the end face by the side of high density of a powder compression-molding object to a mounting surface at the time of heating sintering.

[Claim 2] A manufacturing method of a sintered compact which forms a taper in the side of a powder compression-molding object of the shape of a pilaster before heating sintering beforehand, and is characterized by carrying and sintering the end face of a side with a large area of a powder compression-molding object to a mounting surface at the time of heating sintering.

---

[Translation done.]

## \* NOTICES \*

JPO and INPIT are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. \*\*\*\* shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

---

DETAILED DESCRIPTION

---

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Field of the Invention] This invention relates to the manufacturing method of the sintered compact which sinters by carrying out heating at high temperature of the powder compression-molding object of the shape of a pilaster which carried out press compression and fabricated the end of material powder, such as metal.

[0002]

[Description of the Prior Art] Conventionally, press compression of the end of material powder, such as metal, was carried out by the uniaxial pressing method, and the powder molding public-funds type has been used as a device for fabricating a pilaster-like powder compression-molding object. The powder compression-molding object fabricated with this powder molding public-funds type turns into a sintered compact by carrying out heating sintering at an elevated temperature. Although this sintering is performed by laying the fabricated powder compression-molding object on a sintering plate, putting this in in high temperature furnaces, such as an electric furnace, and heating to sintering temperature. For example, not only in the method of laying a powder compression-molding object on a sintering plate, and carrying out fixed time lapse in the sealed high temperature furnace in this case, Place a sintering plate on the mesh belt in a sintering furnace, and lay a powder compression-molding object on it, a belt is made to drive, and the \*\*\*\*\* method continuously transported to a sintering furnace can also be taken. The \*\*\*\*\* method of laying a powder compression-molding object directly on a mesh belt is also taken. The sintering plate is used in order to stabilize the dimensional change at the time of sintering. The density of a powder compression-molding object is the purpose of stabilizing the shape after sintering, and making it uniform generally is performed.

[0003]

[Problem(s) to be Solved by the Invention] However, in practice, even if it uses a metaphor sintering plate, by the difference between the powder compression-molding object at the time of heating sintering, and the coefficient of thermal expansion of a sintering plate, frictional resistance works among both, and in order to serve for this to restrain the thermal expansion of a powder compression-molding object locally, the squareness accuracy of a sintered compact will be worsened as a result. Drawing 7 shows the thermal expansion model at the time of heating sintering by conventional technology. 27 shows a powder compression-molding object and 29 shows the sintering plate. The black arrow shows the size of the coefficient of thermal expansion of the powder compression-molding object 27 and the sintering plate 29 with the length here. Compared with the coefficient of thermal expansion of the powder compression-molding object 27, the coefficient of thermal expansion of the sintering plate 29 is small. For this reason, frictional resistance like a white arrow works to the contact surface of the powder compression-molding object 27 and the sintering plate 29. The expansion by the side of the contact surface of the powder compression-molding object 27 is restrained by this frictional resistance, and free expansion is carried out by the non-contact side side on the contrary. For this reason, as shown in drawing 8, the taper which spreads up will be formed in the sintered compact 30. The art for canceling such fault is indicated by JP, 63-2735, U. The plate which has a coefficient of thermal expansion comparable as a powder compression-molding object is carried on a sintering plate, it is considered as multiple layer structure, and this art reduces the frictional resistance committed between a powder compression-molding object and a plate at the time of sintering, and makes the same the diameter direction dimension of the upper bed side and lower end surface of a sintered compact by this. Although powder, such as alumina, is carried on a sintering plate and the method of reducing the frictional resistance committed between a powder compression-molding object and a sintering plate is also one of other methods, these methods will have bad productivity and, moreover, cost will be attached highly. When the sintering plate of the same construction material as a powder compression-molding object is used, a coefficient of thermal expansion becomes the same, but since both stick at the time of sintering, operation is impossible.

This invention was made in view of the above-mentioned problem, and The density of a powder compression-molding object, The thermal expansion amount of the end face and the other end face which are put on the mounting surface of the powder compression-molding object at the time of heating sintering by changing a size is controlled, and let it be the issue to solve to provide the manufacturing method of the sintered compact which controls tapered shape Shigeru after heating sintering, and secures the squareness accuracy more than before.

[0004]

[Means for Solving the Problem] A manufacturing method of a sintered compact concerning claim 1 gives a density gradient beforehand to a powder compression-molding object of the shape of a pilaster before heating sintering, and carries and sinters the end face by the side of high density of a powder compression-molding object to a mounting surface at the time of heating sintering. A manufacturing method of a sintered compact concerning claim 2 forms a taper in the side of a powder compression-molding object of the shape of a pilaster before heating sintering beforehand, and carries and sinters the end face of a side with a large area of a powder compression-molding object to a mounting surface at the time of heating sintering. For this reason, even if it does not take into consideration reduction of frictional resistance produced in a mounting surface, it becomes possible to obtain a sintered compact which secured squareness accuracy more than before.

[0005]

[Embodiment of the Invention]

[A 1st embodiment] The manufacturing method of the sintered compact concerning a 1st embodiment of this invention is explained with reference to drawing 1 - drawing 5. Powder molding public-funds type 10 of drawing 2 comprises the fixed die 12 with which the parallel 11 was equipped, the bottom part 13 currently fixed in the state where it was inserted from the lower part along the inner skin 14 of the fixed die 12, and the punch 18 made movable to a sliding direction by the driving source which is not illustrated. The forming process of the powder compression-molding object 17 performed based on this drawing 2 using said powder molding public-funds type 10 is shown. The cavity 15 of the cylindrical shape surrounded with the fixed die 12 and the bottom part 13 is filled up with 16 with a worker's hand or hopper in the end of material powder, such as metal. Generally that with which a binding material, a plasticizer, etc. were beforehand mixed uniformly by metal and the powder of ceramics is used for 16 in this end of material powder. With a braid etc., the upper surface of 16 is prepared in the end of material powder it filled up so that the upper surface of the fixed die 12 may be met, the punch 18 which has a lower end surface parallel to the bottom part 13 end face subsequently is inserted in the cavity 15 from the upper part of the fixed die 12, and press compression of 16 is carried out by the power of  $4.5-5-t$  [cm]<sup>2</sup> in the end of material powder. By this press compression, the density by the side of the punch 18 is high, and the powder compression-molding object 17 which has the low-density continuous density gradient is acquired, so that it goes to the bottom part 13 side. The mechanism which a density gradient generates is as follows. A granular material does not become uniformly [pressure transfer] and uniform, when a pressure is applied within a mold unlike a fluid. Since there is far large frictional resistance as compared with a fluid, when press compression of 16 is carried out like this embodiment in the end of material powder, 16 solidifies gradually from the a section of drawing 3 in the end of material powder with the frictional resistance committed between 16 in the fixed-die inner skin 14 and the end of material powder. This is for the thrust of the punch 18 to be hard to be transmitted even to the bottom part 13, and for frictional resistance to concentrate on the fixed-die inner skin 14 of the a section as a result. If the a section solidifies, thrust will be further applied to the part and the frictional resistance of the fixed-die inner skin 14 by the side of the bottom part 13 will become small as a result. Therefore, the powder compression-molding object 17 which has the continuous density gradient that density becomes low at a of drawing 3, b, c, and order is completed.

[0006] The done powder compression-molding object 17 is taken out after removing the punch 18 and the fixed die 12 up. At this time, the taper as shown in drawing 1 has occurred on the powder compression-molding object 17 taken out from powder molding public-funds type 10. It says [that mold deformation becomes large since this has the large pressure by which the way of a high-density portion is added to the fixed die 12 in the powder compression-molding object 17 in the mold at the time of the completion of press compression], Since the portion high-density naturally of the remaining stress of powder compression-molding object 17 inside is also larger, the fact that the way of the spring back quantity of a high-density portion becomes large is cited as a reason. A binding material, a plasticizer, etc. which are contained in the fabricated powder compression-molding object are removed by the degreasing furnace etc.

[0007] Then, reverse the powder compression-molding object 17 which gave the density gradient, the end face by the side of high density is made to lay in the sintering plate 19, and elevated-temperature sintering is carried out in a sintering furnace. Since it says that sintering being performed at the elevated temperature usually exceeding 1000 degreeC and ceramics excellent in heat resistance are very expensive, the board made from carbon is used for the sintering plate 19. Drawing 1 shows the firing process from which the powder compression-molding object 17 turns into the sintered compact

20. Since the one of a thermal expansion amount where forming density is higher is large, the end face by the side of high density is put on the mounting surface which frictional resistance commits, and it is made to expand generally less than the quantity which will originally expand. On the other hand, free expansion of the end face by the side of low density is carried out in the state where it is not made to restrain. Tapered shape Shigeru after heating sintering is controlled by a priori, adjusting the density gradient of the powder compression-molding object 17 so that the diameter direction dimension of the upper bed side and lower end surface of the sintered compact 20 after heating sintering may become almost the same. Therefore, it becomes possible to obtain the sintered compact 20 which secured the squareness accuracy more than before. Although this powder compression-molding object 17 has a density gradient, since it is the continuous density gradient, the interface produced according to a density difference does not exist. Therefore, a crack does not arise at the time of sintering.

[0008] Next, the effect of this invention is explained based on drawing 4 and drawing 5. Drawing 4 shows the top-view figure and sectional view of the cavity which fabricate the powder compression-molding object of cylindrical shape. 21 shows the core rod made to set up in a cavity, in order to form a centrum in shaft orientations at a powder compression-molding object. The lower end surface of this core rod 21 is being fixed to the upper bed side of a bottom part. The forming density of the powder compression-molding object B concerning this embodiment fabricated within this cavity is a  $6.7 \text{ g/cm}^3$  grade  $7.0 \text{ g/cm}^3$  and near a lower end surface near an upper bed side. The high-density end face of this powder compression-molding object B is laid on a sintering plate, and the degree of furnace temperature carries out heating sintering in the mixed atmosphere of nitrogen or nitrogen, and hydrogen for about 2 hours in the sintering furnace which is  $1120^\circ\text{C}$ . The time actually heated here is about 20 minutes of them. As a comparative example, the whole fabricated the powder compression-molding object A of uniform density mostly with  $6.83 \text{ g/cm}^3$ , and carried out heating sintering on the same conditions as B. A and B of every ten each repeated this sintering, and the average value of the cylindricity of a sintered compact was computed. Cylindricity lengthens a minimum diameter from the maximum diameter of the sintered compact after heating sintering, shows the value which divided it by 2, and expresses that squareness accuracy is so high that this value is small. The result is shown in drawing 5. The cylindricity after heating sintering of the powder compression-molding object B concerning this embodiment is 0.013 on an average, and the value is small compared with 0.035 which is the average value of the cylindricity after heating sintering of the powder compression-molding object A as this figure shows. Therefore, it is checked that the direction of the powder compression-molding object B concerning this embodiment has high squareness accuracy. It is checked also for dispersion ( $+3\sigma$  or  $-3\sigma$  as the standard deviation  $3\sigma$ ) about 0.03 to about 0.01 and that the direction of the powder compression-molding object B is small to the powder compression-molding object A, and accuracy is high. The effect of this invention is checked by the above.

[0009] A movable die movable to a sliding direction, for example other than the method of giving the density gradient mentioned above is used. At the time of press compression, the lowering speed of a punch and the lowering speed of a movable die are made the same, and how to make the maximum frictional resistance of the material powder end of the bottom part side and movable die inner skin, and make high density of the powder compression-molding object bottom can be considered. If it is this method, it will be made to lay on the jig for sintering, without reversing a powder compression-molding object, and it will become possible to perform elevated-temperature sintering. In an embodiment of the invention, although the manufacturing method of the sintered compact of a pillar and cylindrical shape was shown, the shape of a sintered compact is not restricted to this and the sintered compact of the shape of another multiple pilaster is also possible for manufacture.

[0010] [A 2nd embodiment] The manufacturing method of the sintered compact concerning a 2nd embodiment of this invention is explained. A movable movable die is used for the upper and lower sides in which the taper was formed to inner skin, friction with the end of material powder and movable die inner skin is reduced by adjusting the relative velocity of a punch and a movable die at the time of press compression, and the powder compression-molding object whose density is homogeneity and whose side is tapered shape is fabricated in this embodiment. Since the spring back quantity of the taken-out powder compression-molding object has uniform density, it is fixed in every part, and therefore, a cone angle is in agreement with the angle of the taper formed in movable die inner skin. Sintering is performed by putting the end face with a larger area of the fabricated powder compression-molding object 57 on the sintering plate 59, as shown in drawing 6. That is, the diameter direction dimension of the upper bed side and lower end surface of the sintered compact 60 after heating sintering can be made almost the same by only a part for frictional resistance to work being larger than the area of the end face of the side which is not restrained beforehand, and carrying out area of the near end face put on the sintering plate 59. Therefore, the sintered compact 60 with high squareness accuracy can be obtained.

[0011] Although the powder compression-molding object was laid on the sintering plate and heating sintering was performed in a 1st and 2nd embodiment of this invention, it is also possible to lay

directly, for example on a mesh belt, and to perform heating sintering. The range of the press compressive force at the time of shaping of a powder compression-molding object is not restricted to the range shown in a 1st embodiment. It is also possible to take the method of fixing to inner skin as shown by a 2nd embodiment the die which has a taper, and giving a density gradient to a Plastic solid as a 1st embodiment showed.

[0012]

[Effect of the Invention]As explained in full detail above, according to this invention by claim 1, the squareness accuracy of the sintered compact after heating sintering improves by giving the density gradient beforehand to the Plastic solid of the shape of a pilaster before heating sintering, and sintering by putting the end face by the side of the high density of a powder compression-molding object on a mounting surface at the time of heating sintering. According to this invention by claim 2, the squareness accuracy of the sintered compact after heating sintering improves like claim 1 by forming the taper in the side of the powder compression-molding object of the shape of a pilaster before heating sintering beforehand, and sintering by putting the end face of a side with a large area of a powder compression-molding object on a mounting surface at the time of heating sintering.

---

[Translation done.]

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平10-140210

(43) 公開日 平成10年(1998) 5月26日

(51) Int.Cl.<sup>6</sup>

識別記号

F I

B 2 2 F 3/10

B 2 2 F 3/10

A

3/02

3/02

G

C 0 4 B 35/64

C 0 4 B 35/64

C

審査請求 未請求 請求項の数 2 O L (全 5 頁)

(21) 出願番号 特願平8-298535

(22) 出願日 平成 8 年(1996) 11月11日

(71) 出願人 000003207

トヨタ自動車株式会社

愛知県豊田市トヨタ町 1 番地

(72) 発明者 桔梗 千明

愛知県豊田市トヨタ町 1 番地 トヨタ自動車株式会社内

(72) 発明者 中村 斉

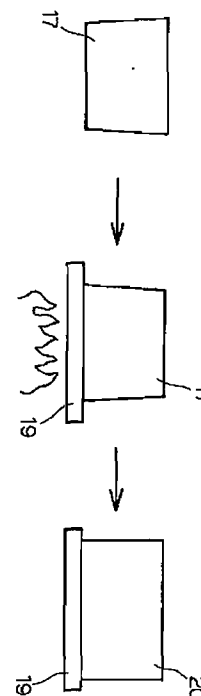
愛知県豊田市トヨタ町 1 番地 トヨタ自動車株式会社内

(54) 【発明の名称】 焼結体の製造方法

(57) 【要約】

【課題】直角度精度の高い焼結体を得る焼結体の製造方法を提供すること。

【解決手段】加熱焼結前の柱形状の粉末圧縮成形体に予め密度勾配を付与しておき、加熱焼結時、載置面に粉末圧縮成形体の高密度側の端面を載せて焼結を行う。また、加熱焼結前の柱形状の粉末圧縮成形体の側面に予めテーパを形成しておき、加熱焼結時、載置面に粉末圧縮成形体の面積の大きい側の端面を載せて焼結を行う。よって、加熱焼結後の焼結体の直角度精度が向上する。



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】加熱焼結前の柱形状の粉末圧縮成形体に予め密度勾配を付与しておき、加熱焼結時、載置面に粉末圧縮成形体の高密度側の端面を載せて焼結することを特徴とする焼結体の製造方法。

【請求項 2】加熱焼結前の柱形状の粉末圧縮成形体の側面に予めテーパを形成しておき、加熱焼結時、載置面に粉末圧縮成形体の面積の大きい側の端面を載せて焼結することを特徴とする焼結体の製造方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、金属等の材料粉末を押圧圧縮して成形した柱形状の粉末圧縮成形体を高温加熱して焼結を行う焼結体の製造方法に関する。

## 【0002】

【従来の技術】従来、金属等の材料粉末を単軸成形法で押圧圧縮し、柱形状の粉末圧縮成形体を成形するための装置として粉末成形用金型が使用されてきた。この粉末成形用金型で成形された粉末圧縮成形体は、高温で加熱焼結されることにより焼結体となる。この焼結は、成形された粉末圧縮成形体を焼結板の上に載置し、これを電気炉等の高温炉内に入れて焼結温度まで加熱することにより行われるが、例えばこの際、焼結板の上に粉末圧縮成形体を載置し、密閉された高温炉内で一定時間経過させる方法だけでなく、焼結炉中のメッシュベルト上に焼結板を置き、その上に粉末圧縮成形体を載置してベルトを駆動させ、焼結炉に連続的に移送させるといったような方法も取ることができる。またメッシュベルトの上に直接、粉末圧縮成形体を載置させるといったような方法も取られている。なお焼結板は、焼結時の寸法変化を安定化させる目的で用いられているものであり、また粉末圧縮成形体の密度は、焼結後の形状を安定化させる目的で、一般に均一にしておくことが行われている。

## 【0003】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら実際は、例え焼結板を用いたとしても、加熱焼結時の粉末圧縮成形体と焼結板の熱膨張率の違いにより、両者の間に摩擦抵抗が働き、これが粉末圧縮成形体の熱膨張を局所的に拘束する働きをするため、結果的に焼結体の直角度精度を悪化させてしまう。図 7 は、従来技術による加熱焼結時の熱膨張モデルを示したものである。27 は粉末圧縮成形体を、29 は焼結板を示している。ここで黒矢印は、その長さにより粉末圧縮成形体 27 及び焼結板 29 の熱膨張率の大きさを示している。粉末圧縮成形体 27 の熱膨張率に比べ、焼結板 29 の熱膨張率は小さい。このため粉末圧縮成形体 27 と焼結板 29 の接触面には白矢印のような摩擦抵抗が働く。この摩擦抵抗により、粉末圧縮成形体 27 の接触面側の膨張が拘束され、反対に非接触面側では自由膨張する。このため図 8 に示すように、焼結体 30 には上方に拡がるテーパが形成されてし

まう。このような不具合を解消するための技術が、実開昭 63-2735 号公報に開示されている。この技術は、焼結板上に粉末圧縮成形体と同程度の熱膨張率を有する板材を載せて複層構造とし、焼結時に粉末圧縮成形体と板材間に働く摩擦抵抗を低減させ、これにより焼結体の上端面と下端面の径方向寸法を同一にするというものである。またこの他の方法にも、焼結板上にアルミナ等の粉末を載せ、粉末圧縮成形体と焼結板との間に働く摩擦抵抗を低減させるというような方法があるが、これらの方法は生産性が悪く、しかもコストが高く付いてしまう。また粉末圧縮成形体と同じ材質の焼結板を使用した場合、熱膨張率は同じとなるが、焼結時に両者が張り付いてしまうため実施は不可能である。本発明は、上述の問題に鑑みてなされたもので、粉末圧縮成形体の密度、寸法を変えることで加熱焼結時の粉末圧縮成形体の載置面に載せる端面と他端面の熱膨張量をコントロールし、加熱焼結後のテーパ形成を抑制して従来以上の直角度精度を確保する焼結体の製造方法を提供することを解決する課題とする。

## 【0004】

【課題を解決するための手段】請求項 1 に係る焼結体の製造方法は、加熱焼結前の柱形状の粉末圧縮成形体に予め密度勾配を付与しておき、加熱焼結時、載置面に粉末圧縮成形体の高密度側の端面を載せて焼結することを特徴とする。また、請求項 2 に係る焼結体の製造方法は、加熱焼結前の柱形状の粉末圧縮成形体の側面に予めテーパを形成しておき、加熱焼結時、載置面に粉末圧縮成形体の面積の大きい側の端面を載せて焼結することを特徴とする。このため、載置面に生じる摩擦抵抗の低減を考慮しなくても従来以上の直角度精度を確保した焼結体を得ることが可能となる。

## 【0005】

## 【発明の実施の形態】

【第 1 の実施の形態】本発明の第 1 の実施の形態に係る焼結体の製造方法を、図 1～図 5 を参照して説明する。図 2 の粉末成形用金型 10 は、ダイベース 11 に装着された固定ダイ 12 と、固定ダイ 12 の内周面 14 に沿って下部から挿入された状態で固定されている下型 13 と、図示しない駆動源により上下方向に移動可能とされた上型 18 とから構成されている。この図 2 を基に、前記粉末成形用金型 10 を使用して行う粉末圧縮成形体 17 の成形方法を示す。固定ダイ 12 と下型 13 とで囲まれた円柱形状のキャビティ 15 に金属等の材料粉末 16 を作業者の手あるいはホッパーによって充填する。一般にこの材料粉末 16 には、予め金属やセラミックスの粉末に結合剤、可塑剤等が均一に混合されたものが使用される。充填された材料粉末 16 の上面をブレード等で、固定ダイ 12 の上面に沿うように整え、次いで下型 13 端面と平行な下端面を有する上型 18 を固定ダイ 12 の上部からキャビティ 15 に挿入し、材料粉末 16 を 4.



5～5トン/cm<sup>2</sup>の力で押圧圧縮する。この押圧圧縮によって、上型18側の密度が高く、かつ下型13側にいくほど密度が低い連続した密度勾配を有する粉末圧縮成形体17が得られる。密度勾配が発生するメカニズムは次の通りである。粉体は流体とは異なり、型内にて圧力が加えられた時、圧力伝達は均一、一様にはならない。また流体と比較してはるかに大きい摩擦抵抗があるため、本実施の形態のように材料粉末16を押圧圧縮した際、固定ダイ内周面14と材料粉末16の間に働く摩擦抵抗によって、材料粉末16は図3のa部から徐々に固まってしまう。これは、上型18の押圧力が下型13にまで伝達され難く、結果としてa部の固定ダイ内周面14に摩擦抵抗が集中してしまうためである。a部が固まると、さらにその箇所に押圧力がかかり、結果として下型13側の固定ダイ内周面14の摩擦抵抗は小さくなる。よって、図3のa、b、cと順に密度が低くなるような連続した密度勾配を有する粉末圧縮成形体17が完成する。

【0006】出来上がった粉末圧縮成形体17は、上型18、固定ダイ12を上方に取り去った後に取り出される。この時、粉末成形用金型10から取り出された粉末圧縮成形体17には、図1に示すようなテーパが発生している。これは押圧圧縮完了時の型内の粉末圧縮成形体17において、密度が高い部分のほう固定ダイ12に加わる圧力が大きいため型変形量が大きくなるということや、また粉末圧縮成形体17内部の残留応力も当然密度の高い部分のほうが大きいため、密度が高い部分のスプリングバック量のほうが大きくなるということが理由として挙げられる。なお、成形された粉末圧縮成形体に含まれる結合剤、可塑剤等は脱脂炉等によって除去される。

【0007】その後、密度勾配を付与した粉末圧縮成形体17を反転させて高密度側の端面を焼結板19に載置させ、焼結炉の中で高温焼結させる。なお焼結板19には、焼結が普通1000℃を越える高温で行われること、また耐熱性に優れたセラミックが非常に高価であるという理由から炭素製の板が用いられている。図1は粉末圧縮成形体17が焼結体20となる焼成過程を示している。一般に、成形密度が高い方が熱膨張量は大きいため、摩擦抵抗が働く載置面に高密度側の端面を載せて、本来膨張するであろう量よりも少なく膨張させる。一方、低密度側の端面は拘束させない状態で自由膨張させる。事前に、加熱焼結後の焼結体20の上端面と下端面の径方向寸法がほぼ同一となるように粉末圧縮成形体17の密度勾配を調整しておくことで、加熱焼結後のテーパ形成が抑制される。よって、従来以上の直角度精度を確保した焼結体20を得ることが可能となる。なお、この粉末圧縮成形体17は密度勾配を有してはいるが、連続した密度勾配であるため、密度差によって生じる境界面が存在しない。よって、焼結時に割れが生じることは

ない。

【0008】次に図4、図5を基に、本発明の効果を説明する。図4は円筒形状の粉末圧縮成形体を成形するキャビティの上視図及び断面図を示している。なお21は、粉末圧縮成形体に軸方向に中空部を形成するためにキャビティ内に立設させたコアロッドを示している。なお、このコアロッド21の下端面は、下型の上端面に固定されている。このキャビティ内で成形された本実施の形態に係る粉末圧縮成形体Bの成形密度は、上端面付近で7.0g/cm<sup>3</sup>、下端面付近で6.7g/cm<sup>3</sup>程度である。この粉末圧縮成形体Bの高密度の端面を焼結板上に載置し、炉内温度が1120℃である焼結炉内で、窒素もしくは窒素と水素の混合雰囲気の中で、約2時間加熱焼結する。なお、ここで実際に加熱している時間はその中の20分程度である。また比較例として、全体が6.83g/cm<sup>3</sup>とほぼ均一密度の粉末圧縮成形体Aを成形し、Bと同じ条件で加熱焼結した。この焼結をA、B各々10個ずつ繰り返し、焼結体の円筒度の平均値を算出した。なお、円筒度とは、加熱焼結後の焼結体の最大直径から最小直径を引き、それを2で割った値を示しており、この値が小さいほど直角度精度が高いことを表している。その結果を図5に示す。この図の示す通り、本実施の形態に係る粉末圧縮成形体Bの加熱焼結後の円筒度は平均で0.013であり、粉末圧縮成形体Aの加熱焼結後の円筒度の平均値である0.035に比べて値が小さくなっている。よって、本実施の形態に係る粉末圧縮成形体Bの方が直角度精度が高いことが確認される。また、ばらつき（標準偏差σとして|+3σ|または|-3σ|）も約0.03から約0.01と、粉末圧縮成形体Aに対して粉末圧縮成形体Bの方が小さくなっており、精度が高くなっていることが確認される。以上により、本発明の効果が確認される。

【0009】なお、上述した密度勾配を持たせる方法の他に、例えば上下方向に移動可能な可動ダイを使用し、押圧圧縮時、上型の下降速度と可動ダイの下降速度を同一にし、下型側の材料粉末と可動ダイ内周面との摩擦抵抗を最大にして粉末圧縮成形体の下側の密度を高くする方法が考えられる。この方法であれば、粉末圧縮成形体を反転させることなく焼結用治具の上に載置させ、高温焼結を行うことが可能となる。また、本発明の実施の形態では、円柱、円筒形状の焼結体の製造方法を示したが、焼結体の形状はこれに限るものではなく、それ以外の多角柱形状の焼結体でも製造は可能である。

【0010】〔第2の実施の形態〕本発明の第2の実施の形態に係る焼結体の製造方法を説明する。本実施の形態では、内周面にテーパを形成した上下に移動可能な可動ダイを使用して、押圧圧縮時、上型と可動ダイの相対速度を調整することによって材料粉末と可動ダイ内周面との摩擦を低減させ、密度が均一、かつ側面がテーパ形状である粉末圧縮成形体を成形する。取り出された粉末

圧縮成形体のスプリングバック量は、密度が均一であるためにどの箇所でも一定であり、よってテーパ角度は可動ダイ内周面に形成されたテーパの角度と一致する。焼結は、図6に示されるように、成形された粉末圧縮成形体57の面積の大きい方の端面を焼結板59に載せて行われる。つまり、焼結板59に載せる側の端面の面積を、拘束されない側の端面の面積よりも、摩擦抵抗の働く分だけ予め大きくしておくことで、加熱焼結後の焼結体60の上端面と下端面の径方向寸法をほぼ同一とすることができる。よって、直角度精度の高い焼結体60を得ることができる。

【0011】なお、本発明の第1、第2の実施の形態では、粉末圧縮成形体を焼結板の上に載置して加熱焼結を行ったが、例えばメッシュベルトの上に直接載置して加熱焼結を行うことも可能である。また、粉末圧縮成形体の成形時の押圧圧縮力の範囲は、第1の実施の形態に示した範囲に限るものではない。また、第2の実施の形態で示したような内周面にテーパを有するダイを固定しておいて、第1の実施の形態で示したように成形体に密度勾配を付与するという方法を取ることも可能である。

#### 【0012】

【発明の効果】以上詳述したように、請求項1による本発明によれば、加熱焼結前の柱形状の成形体に予め密度勾配を付与しておき、加熱焼結時、載置面に粉末圧縮成形体の高密度側の端面を載せて焼結を行うことにより、加熱焼結後の焼結体の直角度精度が向上する。また請求項2による本発明によれば、加熱焼結前の柱形状の粉末\*

\* 圧縮成形体の側面に予めテーパを形成しておき、加熱焼結時、載置面に粉末圧縮成形体の面積の大きい側の端面を載せて焼結を行うことにより、請求項1と同様に加熱焼結後の焼結体の直角度精度が向上する。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1の実施の形態の密度勾配を有する粉末圧縮成形体から焼結体に至るまでの焼結過程を示す図である。

【図2】本発明の第1の実施の形態の粉末圧縮成形体の成形工程を示す図である。

【図3】本発明の第1の実施の形態の材料粉末から密度勾配を有する粉末圧縮成形体に至るまでの押圧圧縮過程を示す図である。

【図4】本発明の第1の実施の形態の粉末圧縮成形体を成形するキャビティの上視及び断面を示す図である。

【図5】本発明の第1の実施の形態の粉末圧縮成形体A、Bの焼結後の円筒度比較を示す図である。

【図6】本発明の第2の実施の形態の均一な密度の粉末圧縮成形体から焼結体に至るまでの焼結過程を示す図である。

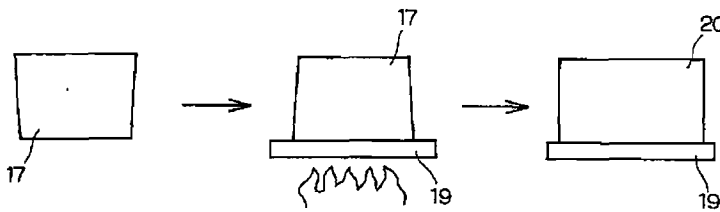
【図7】焼結時に粉末圧縮成形体に働く摩擦抵抗及び熱膨張率を示す図である。

【図8】均一な密度の粉末圧縮成形体から焼結体へ至るまでの焼結過程を示す従来図である。

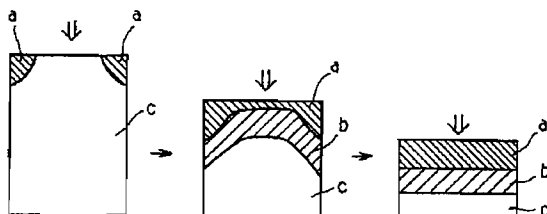
#### 【符号の説明】

17、57—粉末圧縮成形体 19、59—焼結板 20、60—焼結体

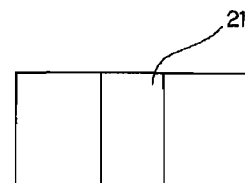
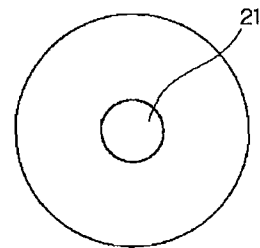
【図1】



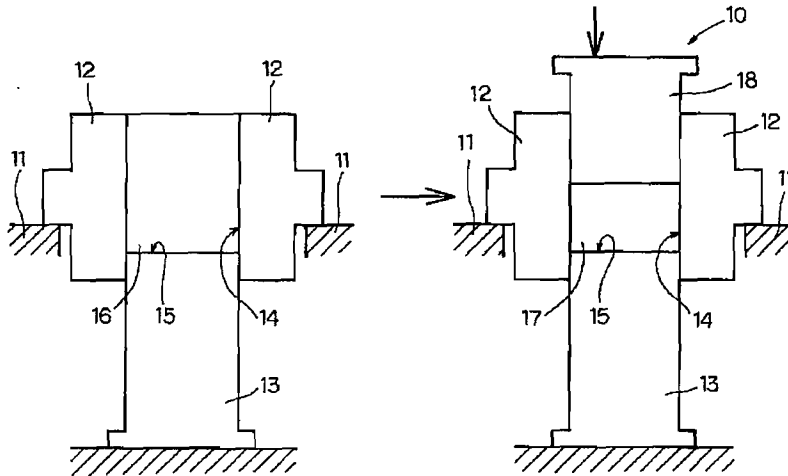
【図3】



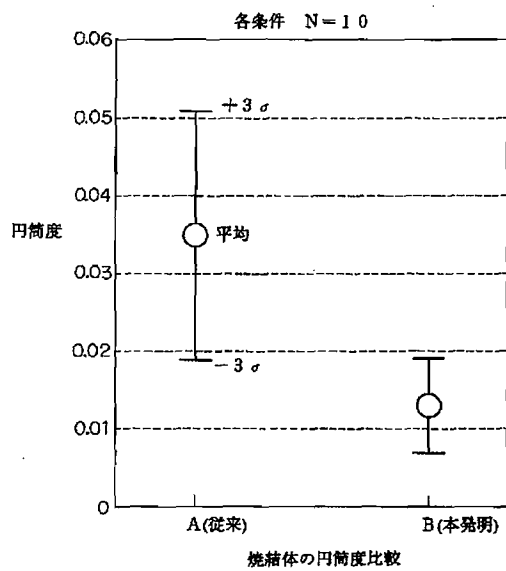
【図4】



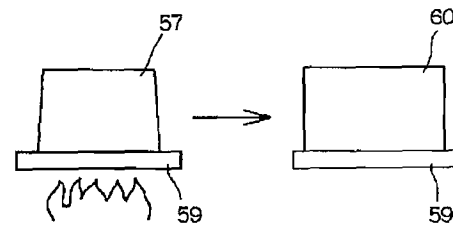
【図2】



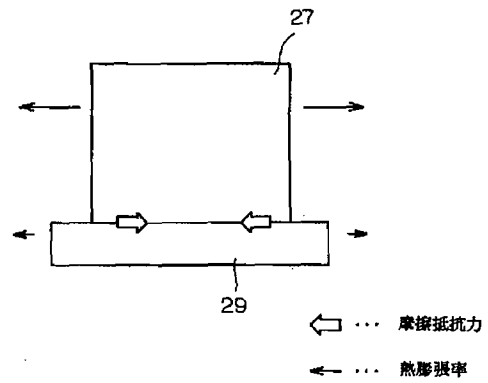
【図5】



【図6】



【図7】



【図8】

